GORTANIA - Atti Museo Friul. di Storia Nat.	17(1995)	57-78	Udine, 31.VII.1996	ISSN: 0391-5859

M. CASTELLO

STUDI LICHENOLOGICI IN ITALIA NORD-ORIENTALE. VII: EFFETTI DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO SULLE COMUNITÀ LICHENICHE EPIFITE NELLA PROVINCIA DI TRIESTE

LICHENOLOGICAL STUDIES IN NE ITALY. VII: EFFECTS OF AIR POLLUTION ON EPIPHYTIC LICHEN COMMUNITIES IN THE PROVINCE OF TRIESTE

Riassunto breve - In questo lavoro vengono riportati i risultati di uno studio della qualità dell'aria nella Provincia di Trieste basato sui licheni quali indicatori di inquinamento da SO_2. La valutazione della qualità dell'aria è stata effettuata mediante un Indice di Purezza Atmosferica (I.A.P.), basato sul numero e sulla frequenza delle specie licheniche presenti su *Quercus* e *Tilia* spp. in 80 stazioni di campionamento. Viene presentata la carta della qualità dell'aria della Provincia di Trieste: la maggior parte della Provincia presenta buoni livelli di qualità dell'aria, mentre le zone più inquinate corrispondono alla zona urbana ed industriale di Trieste ed alla parte sudorientale della Provincia; si registra un leggero deterioramento della qualità dell'aria nella parte nordoccidentale della Provincia. Complessivamente sono state rilevate 62 specie licheniche epifite e due principali tipi di comunità, costituite rispettivamente da specie nitrofitiche e tossitolleranti oppure da specie acidofitiche sensibili all'inquinamento atmosferico. Vengono discussi gli effetti dell'attività antropica sulla distribuzione delle specie e delle comunità licheniche rilevate e vengono presentate le carte di distribuzione di 6 specie. I principali fattori che influenzano lo sviluppo delle comunità licheniche sono l'inquinamento atmosferico e l'eutrofizzazione dovuti alle attività antropiche.

Parole chiave: Inquinamento atmosferico, Qualità dell'aria, Bioindicatori, Licheni, Comunità, Trieste.

Abstract - *This paper presents the results of a study of air quality in the Province of Trieste based on lichens as indicators of SO_2 pollution. Air quality was evaluated by means of an Index of Atmospheric Purity (I.A.P.), based on the number and frequency of lichen species on* Quercus *and* Tilia *spp. in 80 sampling stations. Air quality map of the Province of Trieste is shown; most of the study area has very high air quality levels, the most polluted areas corresponding with the urban and industrial zone of Trieste and the South eastern part of the Province; in the North western part of the study area air quality values slightly decrease. Altogether, 62 epiphytic lichen species and two main communities have been recorded, the communities consisting of nitrophytic and toxitollerant species or acidophytic and sensitive to air pollution species; the effects of antropic activities on distribution patterns of lichen species and communities are discussed and the distribution maps of 6 species are presented. The main factors affecting lichen communities development are air pollution and eutrophication.*

Key words: *Air pollution, Air quality, Bioindicators, Lichens, Communities, Trieste.*

Introduzione

Lo studio delle comunità biologiche rappresenta un potente strumento per valutare lo stato dell'ambiente: le alterazioni dei parametri ambientali determinano effetti più o meno evidenti su tutti gli organismi e proprio su tali alterazioni si basano le tecniche di biomonitoraggio ambientale. I licheni sono notoriamente sensibili all'inquinamento atmosferico e, grazie alle peculiari caratteristiche morfologiche, fisiologiche ed ecologiche, sono ampiamente utilizzati da molti decenni come bioindicatori della qualità dell'aria. In questo lavoro vengono presentati i risultati dello studio degli effetti dell'inquinamento atmosferico sulle comunità licheniche epifite nella Provincia di Trieste, realizzato nel 1992.

La flora e vegetazione lichenica della Provincia di Trieste sono state già oggetto di precedenti studi: la flora lichenica epifita è stata studiata da Nimis & Loi (1981, 1982, 1984), l'analisi di comunità licheniche è stata trattata da Nimis & De Faveri (1980), Nimis (1982) e Nimis & Losi (1983), mentre Nimis (1985) e Castello et al. (1994) hanno effettuato degli studi di monitoraggio della qualità dell'aria. Considerata l'esigua estensione territoriale, la Provincia di Trieste risulta una delle aree d'Italia più ricche dal punto di vista lichenologico, con un totale di 413 specie note (Nimis, 1993). Una così elevata biodiversità si concentra soprattutto sull'altipiano carsico, un'area che, pur in assenza di fenomeni di industrializzazione di un certo peso, è intersecata da importanti vie di comunicazione.

Il presente lavoro vuole analizzare gli effetti dell'attività antropica sulla flora e vegetazione lichenica epifita nel territorio provinciale. La particolare metodica di rilevamento impiegata in questo studio, utilizzata routinariamente nei lavori di biomonitoraggio dell'inquinamento atmosferico, prevede il campionamento delle comunità licheniche presenti su alberi con particolari caratteristiche; per questo motivo sono state escluse automaticamente numerose nicchie ecologiche e non sono state trattate le comunità licheniche legate a particolari substrati.

Area di studio

Il territorio studiato corrisponde ai limiti amministrativi della Provincia di Trieste, ed ha una superficie di km^2 212. L'area di studio (fig. 1) può venir suddivisa in quattro distretti principali: l'altipiano carsico, che inizia presso il confine con la Provincia di Gorizia ad un'altitudine inferiore a m 100 s.l.m. per innalzarsi progressivamente sino a m 680 s.l.m. (M. Lanaro) ed è largamente occupato dalla boscaglia illirica a *Quercus pubescens*, *Ostrya carpinifolia* e *Fraxinus ornus*; la costiera triestina, che comprende una stretta fascia di territorio, caratterizzata dalla presenza di estesi relitti di vegetazione mediterranea sempreverde; la conca di Trieste, che comprende l'area urbana e l'area industriale di Trieste, caratterizzata da elevazioni inferiori a m 100 s.l.m., e da una prevalenza di Flysch come substrato

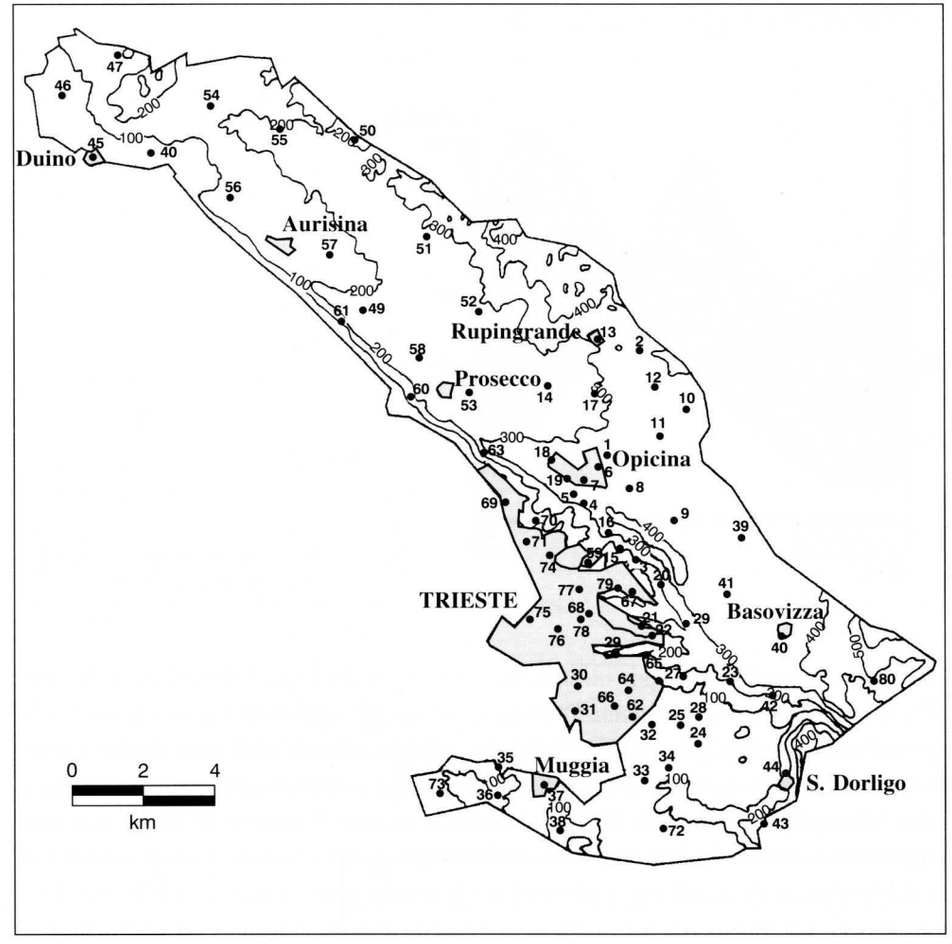


Fig. 1 - Area di studio; viene indicata la disposizione delle 80 stazioni di campionamento.
- *Survey area; location of the 80 sampling stations is shown.*

principale; la parte più meridionale dell'area di studio, che include essenzialmente il comune di Muggia, caratterizzata da basse colline a Flysch, in cui la vegetazione naturale, costituita da boschi acidofili a *Quercus petraea*, è stata largamente sostituita da coltivazioni. Per un'ampia e dettagliata analisi della vegetazione fanerogamica della Provincia di Trieste si rimanda a Poldini (1989).

Dal punto di vista climatico l'area di studio si caratterizza per un clima di transizione tra il tipo mediterraneo e quello continentale-prealpino. La piovosità aumenta rapidamente

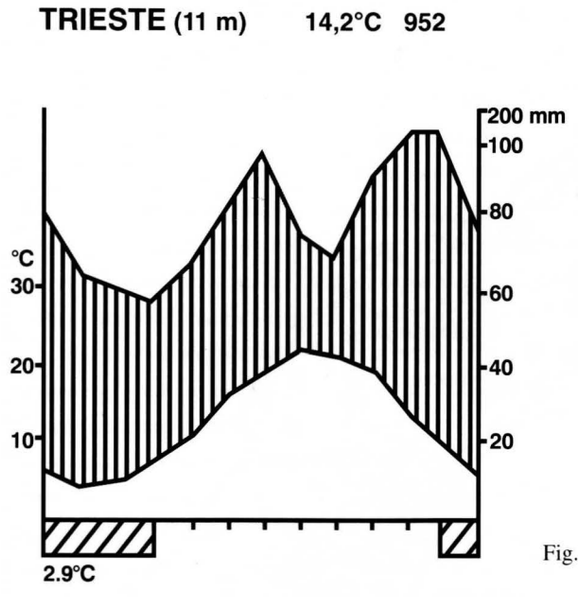


Fig. 2 - Diagramma climatico di Trieste.
- *Climatic diagram of Trieste.*

dalla costa verso l'interno; pur mantenendosi su valori abbastanza elevati (ca. mm 1000 all'anno presso la costa, sino a mm 1600 nelle stazioni più interne del Carso triestino), essa viene contrastata dalla grande percolabilità dei substrati calcarei e dal vento freddo e secco di Bora. La zona costiera presenta condizioni climatiche essenzialmente marittimo-mediterranee. Il diagramma climatico di fig. 2, costruito secondo il metodo di Walter-Gaussen, rappresenta l'andamento della piovosità e della temperatura dell'aria in modo da evidenziare eventuali periodi di siccità estiva rilevanti per la vegetazione. La piovosità è distribuita in due periodi stagionali (inizio estate ed autunno), dimostrando un tipo pluviometrico equinoziale submediterraneo. Le temperature seguono un andamento annuale più regolare, facendo segnare un progressivo aumento dei valori medi durante la stagione primaverile, per toccare i valori massimi in luglio ed agosto, in coincidenza con il minimo stagionale di piovosità. La situazione di transizione tra un clima oceanico-mediterraneo ed uno continentale-submediterraneo, la notevole diversità tra regione costiera ed altipiano carsico e la presenza di numerose situazioni microclimatiche determinano la peculiare ricchezza floristica e vegetazionale dell'area.

La fig. 3 rappresenta il regime dei venti, che si caratterizza per la netta predominanza dei venti da NE ed E, secchi e freddi. Le brezze di mare e di terra sono meno sensibili lungo la costiera, data la particolare conformazione orografica, mentre si fanno sentire maggiormente nelle zone a bassa altitudine della conca di Trieste.

Per quel che riguarda il grado di antropizzazione, la Provincia di Trieste si caratterizza per una situazione estremamente diversificata: da un lato l'altipiano carsico, un tempo sfruttato intensamente per il pascolo e, in minor misura, per l'agricoltura, è oggi soggetto ad un rapido processo di rimboschimento naturale che tende a sostituire la landa carsica di origine antropozoogena. Per quanto quest'area sia intersecata da numerose vie di scorrimento, essa mantiene in molte parti caratteri di spiccata naturalità; gli insediamenti industriali propriamente detti sono scarsissimi e gli insediamenti urbani sono in genere di piccole dimensioni. La situazione cambia rapidamente nella conca di Trieste, che risulta invece fortemente urbanizzata, anche se nell'area industriale si ha uno scarso insediamento di industrie di trasformazione e quindi di potenziali fonti di sostanze inquinanti. La parte della Provincia confinante con quella di Gorizia è prossima ad insediamenti industriali di maggior peso, siti presso Monfalcone.

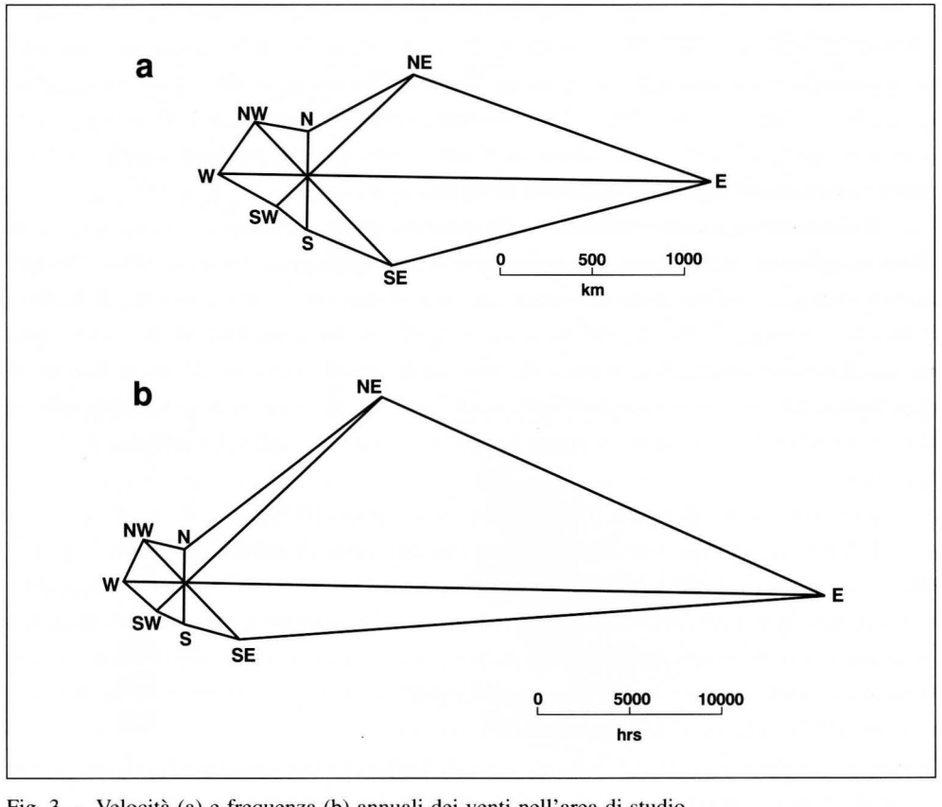


Fig. 3 - Velocità (a) e frequenza (b) annuali dei venti nell'area di studio.
- *Average yearly wind speed (a) and frequency (b) in the study area.*

Materiali e metodi

Lo studio delle comunità licheniche epifite è stato realizzato utilizzando la metodica di rilevamento proposta da HERZIG et al. (1987) e LIEBENDÖRFER et al. (1988), modificata da NIMIS et al. (1989), generalmente usata negli studi di biomonitoraggio dell'inquinamento atmosferico. Tale metodica permette di quantificare l'inquinamento da sostanze fitotossiche, ed in particolare da anidride solforosa, mediante l'uso di un Indice di Purezza Atmosferica (I.A.P.), derivato da dati biologici raccolti seguendo una procedura di rilevamento standardizzata: la metodica si basa sul fatto che in presenza di sostanze inquinanti fitotossiche si registra una diminuzione della copertura ed un impoverimento in specie delle comunità licheniche epifite. Il rilievo viene effettuato all'interno di un reticolo delle dimensioni di 30 x 50 cm (m^2 0.15 di superficie) suddiviso in 10 rettangoli (dimensioni cm 10 x 15), che viene posto sul tronco ad un'altezza compresa tra i 120 ed i 200 cm, nel punto di massima densità lichenica. Vengono annotate le specie licheniche e la loro frequenza, espressa come numero di rettangoli in cui ogni specie è presente (min 1, max 10). In ciascuna stazione vengono effettuati generalmente 3-4 rilievi su alberi diversi. La frequenza delle specie nella stazione di campionamento è data dalla media aritmetica delle frequenze nei diversi rilievi. Il valore dell'Indice di Purezza Atmosferica della stazione è dato dalla somma delle frequenze medie di tutte le specie rilevate. Valori elevati dell'indice indicano una migliore qualità dell'aria, mentre valori bassi segnalano situazioni di degrado.

Il rilevamento è stato effettuato in 80 stazioni, sparse nell'area di studio (fig. 1), su *Quercus pubescens* e *Tilia* spp., che presentano scorza a reazione subacida (pH 4,5-5); numerosi studi hanno dimostrato la sostanziale indifferenza per l'attecchimento della flora lichenica su l'uno o l'altro dei due substrati. Considerato lo scopo dello studio, la maggior densità di stazioni di campionamento coincide con la zona urbana e suburbana di Trieste. In ognuna delle 80 stazioni sono stati effettuati dai 2 ai 6 rilievi su alberi diversi, in dipendenza dalla variabilità della presenza lichenica riscontrata sul posto e dalla disponibilità di Tigli e Querce.

La nomenclatura delle specie licheniche segue NIMIS (1993).

I dati floristici sono stati organizzati in una tabella di 80 stazioni e 62 specie; la frequenza delle specie nelle stazioni è stata espressa in classi di valori, da 1 a 5. Da questa tabella deriva la matrice di 63 stazioni e 62 specie che è stata sottoposta ad analisi multivariata, nella quale non sono state considerate le stazioni in cui i licheni sono completamente assenti. L'analisi multivariata è stata effettuata utilizzando il package di programmi di WILDI & ORLÓCI (1983), sulla base delle seguenti elaborazioni:

1. classificazione delle specie e delle stazioni: permette di evidenziare gruppi di specie con simile distribuzione nell'area di studio e gruppi di stazioni con simile composizione floristica; la classificazione è stata ottenuta sulla base di dati binari (presenza-assenza), utilizzando la funzione di somiglianza della distanza euclidea e l'algoritmo di clustering della minima varianza;
2. ordinamento reciproco delle specie e delle stazioni: permette l'individuazione di eventuali gradienti di variazione floristico-vegetazionale, e quindi di individuare i principali fattori ecologici responsabili di queste variazioni nell'ambito dell'area di studio.

La carta della qualità dell'aria ottenuta sulla base degli indici calcolati per le 80 stazioni e le carte di distribuzione delle singole specie sono state realizzate con il package di programmi SURFER 4 (*Golden Software Inc.*).

Risultati

La carta della qualità dell'aria ottenuta sulla base dei valori dell'Indice di Purezza Atmosferica (I.A.P.) nelle 80 stazioni di campionamento viene presentata in fig. 4. La maggior parte dell'area di studio, coincidente con l'altipiano carsico, presenta una situazione

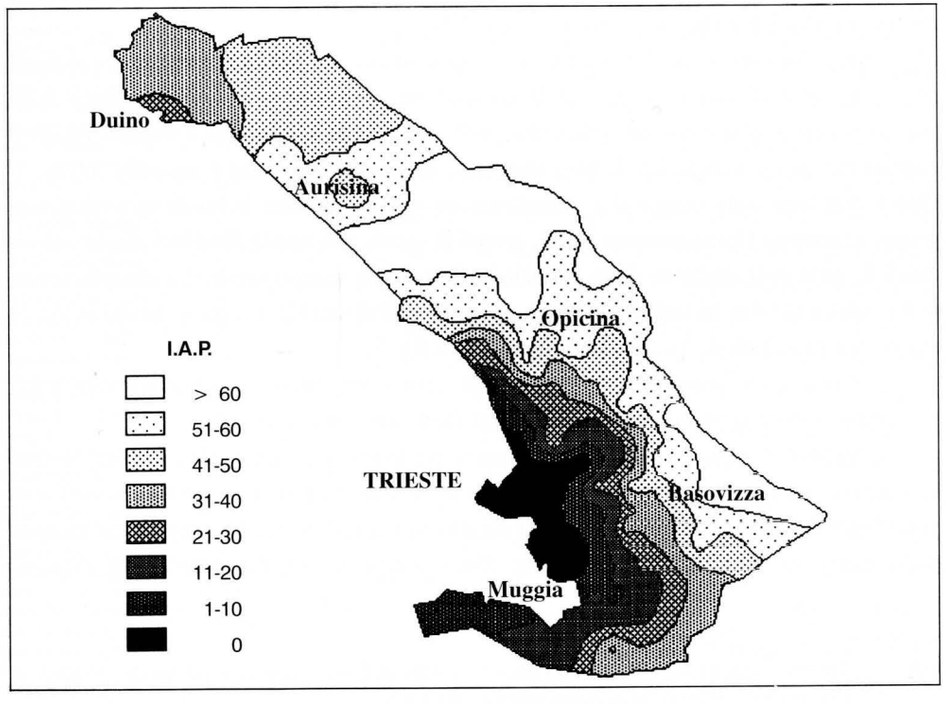


Fig. 4 - Carta della qualità dell'aria basata sull'Indice di Purezza Atmosferica.
- *Air quality map based on the Index of Atmospheric Purity.*

ambientale ottimale, corrispondente a valori di I.A.P. decisamente elevati; il moderato abbassamento dei valori di I.A.P. nella parte nordoccidentale dell'area provinciale segnala la presenza di emissioni di anidride solforosa da parte di fonti inquinanti site nell'area stessa o presso Monfalcone. L'area urbana di Trieste e parte della zona industriale sono caratterizzate dalla presenza del "deserto lichenico" (completa assenza di licheni), o da valori di I.A.P. molto bassi. La carta evidenzia come la situazione di degrado della qualità dell'aria rimanga limitata all'area di Trieste e non diffonda verso il retrostante altipiano carsico; tale fatto va interpretato sulla base delle caratteristiche orografiche e della direzione dei venti più frequenti, provenienti da Sud, Sud-Est o da Est, Nord-Est; la diffusione degli inquinanti verso l'interno, dovuta ai venti meridionali ed alle brezze di mare, viene ostacolata dalla particolare orografia della zona, mentre la Bora e le brezze di terra terminano la dispersione degli inquinanti verso il mare. Questo fenomeno può spiegare i bassi valori di I.A.P. registrati nell'area di Muggia, che presenta una situazione leggermente migliore rispetto all'area urbana di Trieste, ma risente pesantemente degli apporti di gas fitotossici provenienti da Trieste e dalla sua zona industriale ad opera dei venti. L'analisi dettagliata della qualità dell'aria della Provincia di Trieste, comprendente anche i dati relativi alla diffusione nell'area di diversi metalli, è trattata da CASTELLO et al. (1994).

I dati floristici su cui è basata la carta della qualità dell'aria sono stati ulteriormente analizzati per evidenziare gli effetti dell'inquinamento atmosferico sulla distribuzione delle singole specie e sulle comunità licheniche. Nell'area di studio sono state complessivamente rilevate 62 specie licheniche; la loro frequenza media nelle stazioni è riportata in tab. 1. Questi dati sono stati sottoposti a classificazione ed ordinamento, in modo da evidenziare gruppi di stazioni floristicamente simili, gruppi di specie con simile distribuzione ed individuare le principali tendenze della variazione floristica e vegetazionale. La classificazione della matrice dei dati ha individuato 5 gruppi principali di stazioni (dendrogramma in fig. 5) e 5 gruppi principali di specie (dendrogramma in fig. 7).

La ripartizione geografica dei 5 gruppi di stazioni nell'area di studio è mostrata in fig. 6; i gruppi sono ben definiti dal punto di vista floristico, come segue:

gruppo 1: è il gruppo più povero di specie, e quello caratterizzato da valori dell'Indice di Purezza Atmosferica più bassi; le stazioni di questo gruppo sono addensate nell'area periurbana di Trieste, intorno alla zona di deserto lichenico (fig. 6). Le specie presenti sono decisamente nitrofitiche e tossitolleranti: *Physcia adscendens, Ph. tenella, Ph. biziana,*

Tab. 1 - Tabella ordinata sulla base della classificazione delle 67 stazioni e 62 specie; i valori di frequenza sono espressi in classi ordinali, da 1 a 5.
- *Table ordered according the classification of the 67 stations and 62 species; frequency values are reported in ordinal classes, from 1 to 5.*

Gruppo di stazioni n.		1111111111111111222222222222333333333333333444444444555555555555555
		7763333536233272412228 4 422 5274124 11 3556464651 1411554154155
Stazione n.		3066573985624415553203054468176892287029119641708373986172109453032
Physcia adscendens	A	52 41 1 311 1 22 3513311353533433152325 451232132 224521244
Lecidella elaeochroma	A	3121 312221 212132 2213422123114331 22 13 41111112 4312125
Parmelia subrudecta	A	24 1 4 11 1134131112343312344312153133231153 24
Candelariella reflexa	A	311 1 11 1 1454354212231255545445552345554515253 2
Parmelia caperata	A	1 2 1 111 11512411 2133145553125555245555352555
Candelaria concolor	A	52 52 2144223124122331 31 11 32 22323412 24
Parmelia sulcata	A	11 1 3 111 1122413132322231113 11 433423231221253
Parmelia tiliacea	A	113 11 1 1 1421111125424 1 1 321531 3 311
Parmelia subaurifera	A	1 1 1 112142133221 1 333411 12152
Lecanora chlarotera	A	1 1 11111 111 1221122 111 111 11 1 1112
Xanthoria parietina	B	1 1 1 1151 111 121211321222 2 2
Physconia grisea	B	1 1 13322111 1 221211 1 1
Candelariella vitellina	B	111 1 1111 1 1211 1 1 1 1
Physcia biziana	B	2212211 2332243143133 1 112 5421 31 1 11
Phaeophyscia orbicularis	B	1 221 5231 1 2111 2 4 12 1 11 11 1
Hyperphyscia adglutinata	B	4 1 52315 2 1 12 412121 1
Physcia tenella	B	11 3 1121313221 2 212 3231 1 3 1 1
Rinodina pyrina	C	1 2 1 3512 1 31
Parmelia exasperata	C	1 1 11 21 1
Hypogymnia physodes	C	1 24 1131 21 1 1
Lecanora carpinea	C	1 1 1 12111 2111 1 1 1
Physconia distorta	C	1 1 11 111 11 1 1 1
Physcia aipolia	C	1 1 1 4 1 2 223 5 12
Buellia punctata	C	43122 1 1 1 1 11 11
Lepraria incana	D	1 31 1 21 2
Cladonia sp.	D	1 1 12 1
Pseudevernia furfuracea	D	1 1 1 1 1 1
Parmelia revoluta	D	1
Caloplaca herbidella	D	1
Maronea constans	D	1 1
Usnea gr. hirta	D	1
Parmelia elegantula	D	1
Physcia sp.	D	4
Collema furfuraceum	D	1
Anaptychia ciliaris	D	1
Ochrolechia arborea	D	1 1
Lecanora allophana	D	1 1
Physcia clementei	D	1 11
Pertusaria albescens	D	2 211
Parmelia acetabulum	D	1 11
Evernia prunastri	D	1 1 1 1 1 1
Parmelia quercina	D	12 1
Arthonia radiata	D	11 1
Phaeophyscia pragensis	D	4 1
Opegrapha lichenoides	D	1
Phaeophyscia hirsuta	D	11
Collema subflaccidum	D	1 1
Bacidia rubella	D	1 2
Xanthoria fallax	D	3 1 1
Caloplaca cerina	D	1 1
Candelariella xanthostigma	D	1 1 1 2
Parmelia glabra	D	1 1 1
Lecanora gr. hagenii	D	1 1
Catillaria nigroclavata	D	1 1
Parmelia exasperatula	D	1 1 2
Parmelia glabratula	E	2523 144211 1 12 213234 2
Lepraria aeruginosa	E	1 11 1 1 2241211 111222111312 21
Phlyctis argena	E	111 1 311
Lecanora symmicta	E	11111 1
Parmotrema chinense	E	1 11 1 1222 11 1
Normandina pulchella	E	1 1331 2 4 123344 42511
Caloplaca ferruginea	E	1 1 1 11 111 1 22 1111112

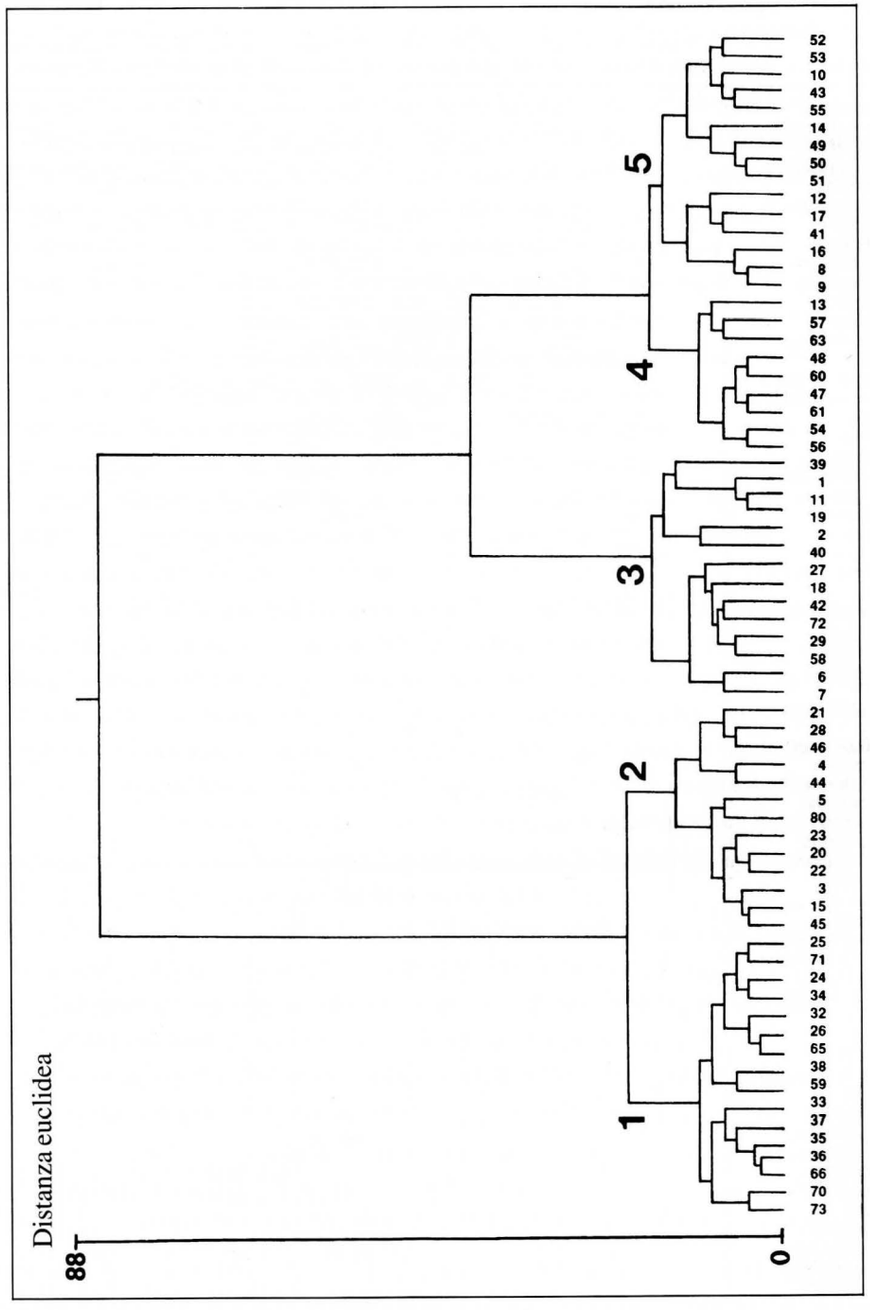


Fig. 5 - Dendrogramma delle stazioni, basato sui dati di tab. 1; i gruppi di stazioni sono numerati come in tab. 1.
- *Dendrogram of the stations, based on the data of tab. 1; station groups are numbered as in tab. 1.*

Lecidella elaeochroma e *Buellia punctata* (tab. 1); la presenza di specie più acidofitiche, quali *Parmelia sulcata*, *P. tiliacea* e *P. subaurifera*, è dovuta all'acidificazione secondaria delle scorze determinata dalla presenza degli inquinanti gassosi, quali anidride solforosa, un fenomeno già osservato in numerose aree dell'Italia settentrionale (Nimis et al., 1991);

gruppo 2: rappresenta una vegetazione moderatamente ben sviluppata appartenente allo *Xanthorion parietinae*. Questa alleanza raggruppa comunità nitrofitiche, neutrobasifitiche, relativamente tossitolleranti, e le stazioni di questo gruppo si addensano soprattutto presso i piccoli centri e le aree coltivate dell'altipiano carsico ed alla periferia della città di Trieste, immediatamente alle spalle delle stazioni del gruppo 1 (fig. 6); le comunità appartenenti a questo gruppo sono inquadrabili nell'associazione del *Physcietum elaeinae* Barkman, caratterizzata dalla presenza di *Hyperphyscia adglutinata* (= *Physcia elaeina*), *Phaeophyscia orbicularis*, *Physcia adscendens*, *Candelaria concolor*, *Xanthoria parietina;*

gruppo 3: include stazioni presenti soprattutto presso aree agricole lontane dai centri abitati sull'altipiano carsico e rappresenta una fase di transizione tra la vegetazione di *Xanthorion parietinae* e quella del *Parmelion caperatae,* un'alleanza che include comunità maggiormente acidofitiche di quelle dello *Xanthorion*, e generalmente meno tolleranti i fenomeni di eutrofizzazione. Il gruppo rappresenta l'aspetto più nitrofilo della sociazione a *Parmelia* spp. Nimis, che costituisce la vegetazione lichenica più comune nei boschi di Quercia dell'altipiano carsico ed è caratterizzata dalla presenza di *Parmelia caperata*, *P. subaurifera*, *P. tiliacea*, *P. sulcata*, *Hypogymnia physodes*, *Usnea hirta* (Nimis, 1982); accanto a queste specie si trovano numerose specie di *Xanthorion parietinae*, *Xanthoria parietina*, *Physcia adscendens*, *Physconia grisea*, *Phaeophyscia orbicularis*, *Hyperphyscia adglutinata* (tab. 1), ad indicare fenomeni diffusi di eutrofizzazione delle scorze in assenza di altri rilevanti fenomeni di inquinamento da gas fitotossici;

gruppo 4: questo gruppo comprende le comunità più tipiche della sociazione a *Parmelia* spp., che si sviluppano sia in boschi chiusi, su Quercia, che su alberi isolati, in questo caso sul lato del tronco esposto a Nord (Nimis, 1982); la presenza delle specie dello *Xanthorion parietinae* è decisamente ridotta rispetto ai rilievi inclusi nel gruppo precedente;

gruppo 5: il gruppo è diffuso nelle zone meno antropizzate dell'area di studio (fig. 6) e rappresenta comunità appartenenti al *Parmelietum caperato-perlatae* (Barkman) Delzenne & Gehu, caratterizzato dalla presenza di *Parmotrema chinense* (= *Parmelia perlata*), che spesso è dominante. Altre specie frequenti sono *Parmelia caperata*, *P. sulcata*, *P. glabratula*, *P. subrudecta*, *Phlyctis argena*, *Normandina pulchella*, *Caloplaca ferruginea*, *Pertusaria albescens*. Il *Parmelion caperato-perlatae* si sviluppa in maniera ottimale in regioni a clima oceanico temperato-caldo; nell'area di studio è frequente sul fondo di grandi doline, dove l'umidità atmosferica è maggiore, su *Quercus petraea* o più raramente su *Q. cerris*, oppure all'interno di boscaglie abbastanza chiuse su *Q. pubescens* mentre è assente o poco sviluppa-

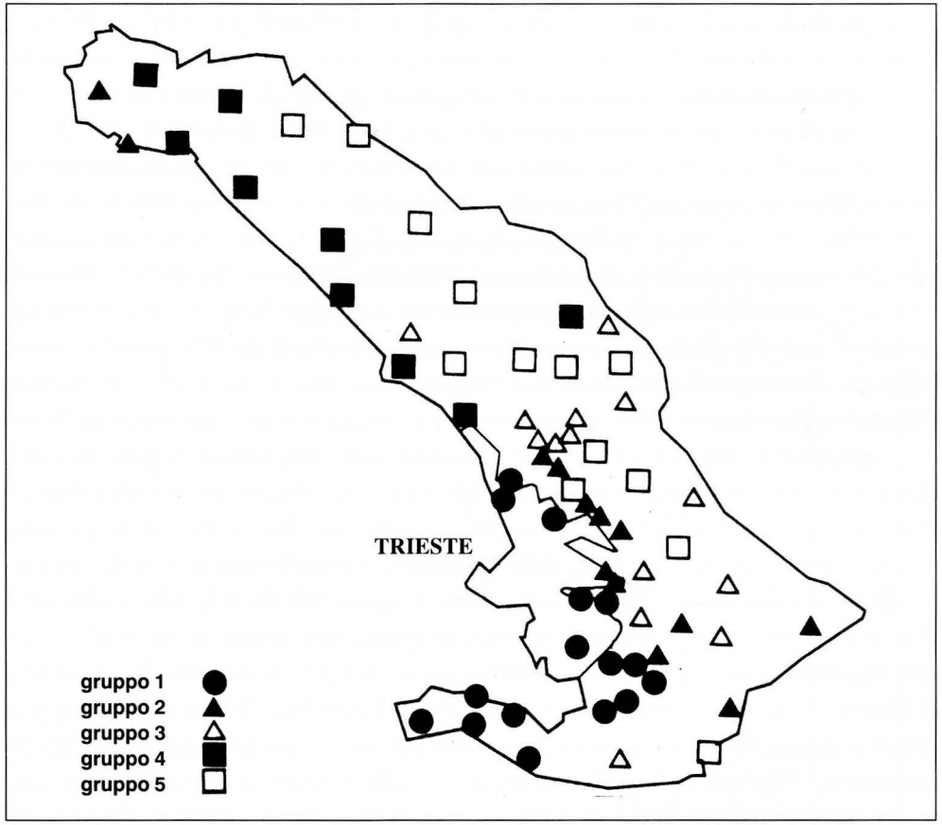


Fig. 6 - Distribuzione dei gruppi di stazioni ottenuti dalla classificazione e numerati come in fig. 5 e tab. 1.
- *Distribution of the station groups obtained by the classification and numbered as in fig. 5 and tab. 1.*

to su alberi in posizioni aperte e soleggiate (NIMIS, 1982). L'associazione è caratterizzata dalla presenza di specie acidofitiche, piuttosto ombrofile e decisamente sensibili all'inquinamento atmosferico.

I 5 gruppi principali di specie individuati dalla classificazione (fig. 7) sono caratterizzati come segue:

gruppo A: il gruppo comprende specie molto frequenti nei gruppi di stazioni 3, 4 e 5 (tab. 1), corrispondenti alle comunità più ricche in specie e meglio sviluppate rilevate nell'area di studio. Come è stato detto, queste comunità appartengono all'alleanza del *Parmelion caperatae* e sono piuttosto sensibili all'inquinamento atmosferico, come evidenziato dalla carta di distribuzione di *Parmelia sulcata* (fig. 8) e *Parmelia caperata* (fig. 9);

gruppo B: si tratta di specie nitrofitiche e piuttosto tolleranti, frequenti nei gruppi di rilievi 2 e 3, tipiche dell'alleanza dello *Xanthorion parietinae*, comuni nelle stazioni in prossimità di centri abitati o nella periferia di Trieste (figg. 10, 11);

gruppo C: il gruppo comprende specie presenti soprattutto nel gruppo di stazioni 3 (fig. 12);

gruppo D: comprende le specie sporadiche;

gruppo E: il gruppo è costituito dalle specie che caratterizzano il gruppo di stazioni 5 (tab. 1); si tratta di specie acidofitiche, molto sensibili all'inquinamento atmosferico e con esigenze di spiccata oceanicità climatica; la loro distribuzione (fig. 13) risulta limitata alle zone del territorio carsico più prossime alle condizioni di naturalità, meno interessate dalle attività antropiche e da fenomeni di inquinamento atmosferico.

La distribuzione delle singole specie può dare utili informazioni sullo stato della qualità dell'aria di un'area in funzione della loro sensibilità; va sottolineato che si tratta in ogni caso di informazioni di tipo qualitativo, in grado di offrire rapidamente un quadro sintetico

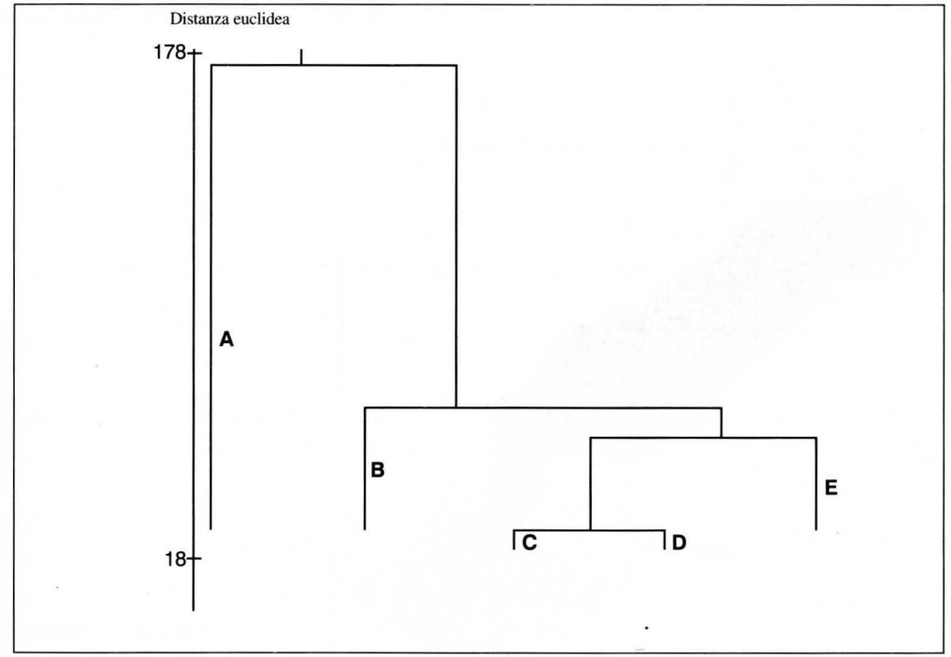


Fig. 7 - Dendrogramma dei gruppi di specie, basato sui dati di tab. 1; i gruppi sono numerati come in tab. 1.
- *Dendrogram of species groups, based on the data of tab. 1; groups are numbered as in tab. 1.*

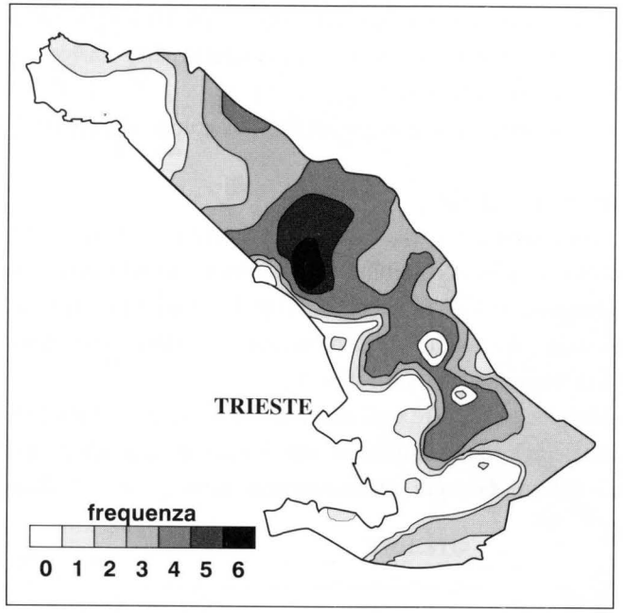


Fig. 8 - Carta della distribuzione di *Parmelia sulcata*.
- *Distribution map of* Parmelia sulcata.

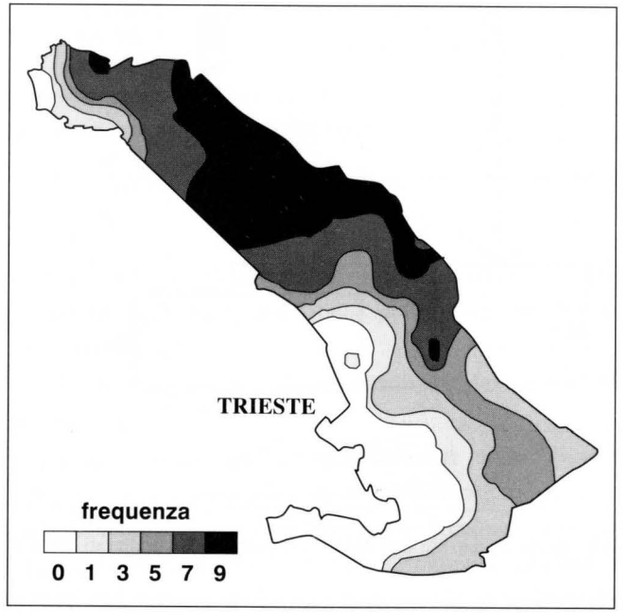


Fig. 9 - Carta della distribuzione di *Parmelia caperata*.
- *Distribution map of* Parmelia caperata.

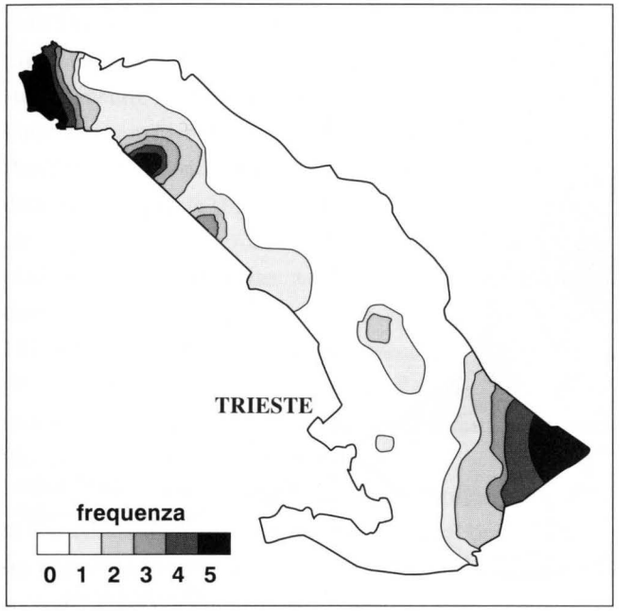


Fig. 10 - Carta della distribuzione di *Hyperphyscia adglutinata*.
- *Distribution map of* Hyperphyscia adglutinata.

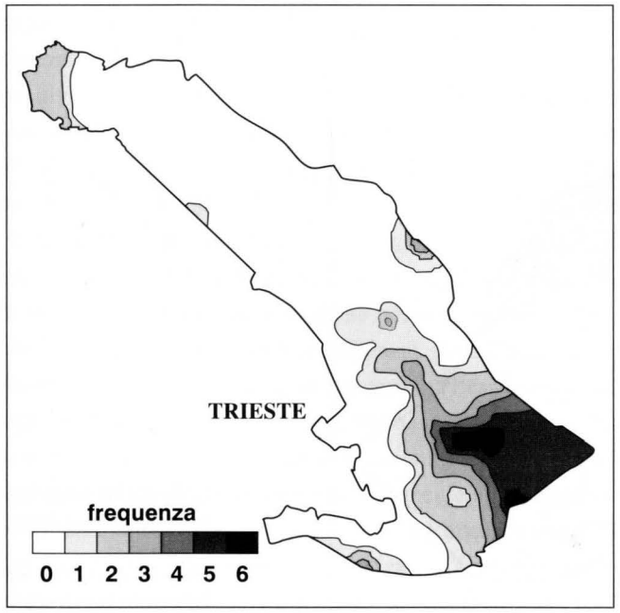


Fig. 11 - Carta della distribuzione di *Physcia biziana*.
- *Distribution map of* Physcia biziana.

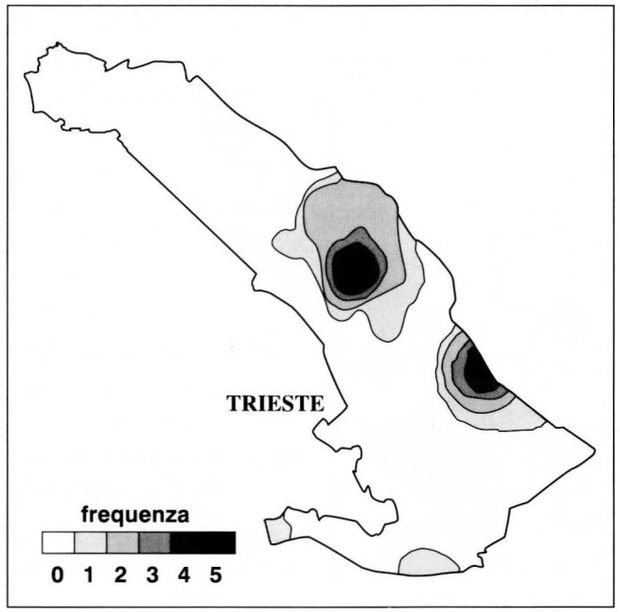


Fig. 12 - Carta della distribuzione di *Physcia aipolia*.
- *Distribution map of* Physcia aipolia.

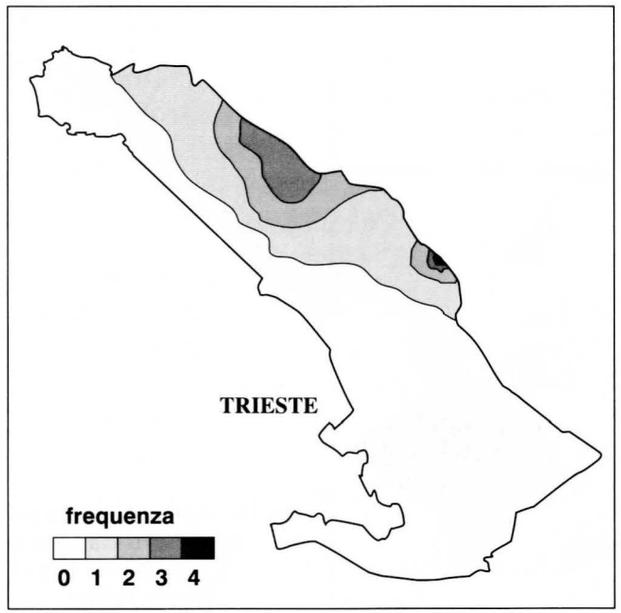


Fig. 13 - Carta della distribuzione di *Parmotrema chinense*.
- *Distribution map of* Parmotrema chinense.

della situazione. Una buona specie indicatrice non deve essere né troppo sensibile né troppo tollerante nei confronti delle sostanze esaminate, in quanto nel primo caso scomparirebbe subito, mentre nel secondo indicherebbe soltanto i fenomeni di disturbo più marcati. Questo fatto risulta evidente confrontando la carta della qualità dell'aria ottenuta con gli Indici di Purezza Atmosferica calcolati su tutte le specie licheniche (fig. 4) e le carte distribuzione delle singole specie (figg. 8-13): la migliore corrispondenza tra i due tipi di carte si ha nel caso di *Parmelia caperata* (fig. 9), una specie mediamente tollerante l'inquinamento atmosferico e l'eutrofizzazione, non legata a particolari condizioni climatiche ed ampiamente distribuita nell'area esaminata. *Hyperphyscia adglutinata* (fig. 10), *Physcia biziana* (fig. 11) e *Physcia aipolia* (fig. 12) sono invece specie troppo legate a situazioni di eutrofizzazione; *Parmelia sulcata* (fig. 8) risulta più tollerante di *P. caperata*, poiché è presente sporadicamente anche nelle zone dell'area urbana di Trieste più inquinate mentre *Parmotrema chinense* (fig. 13) è una specie troppo sensibile.

La fig. 14 mostra, rispettivamente, l'ordinamento delle specie (a) e quello delle stazioni (b), basati sui dati di tab. 1. Trattandosi di ordinamenti di tipo reciproco, le disposizioni dei punti-specie e dei punti-stazione nello spazio definito dalle prime due variabili canoniche sono direttamente comparabili.

Nell'ordinamento delle specie (fig. 14 a) vengono evidenziate soltanto le specie con alte coordinate sulle prime due variabili (specie indicatrici). All'estremo negativo della prima componente principale si evidenziano specie nitrofitiche e tossitolleranti, legate alla vegetazione dello *Xanthorion parietinae*, quali *Xanthoria parietina*, *Physconia grisea*, *Candelariella vitellina*, *Physcia tenella*, *Ph. biziana*, *Phaeophyscia orbicularis*; all'estremo positivo si colloca invece un gruppo di specie più acidofitiche e decisamente non tolleranti una spiccata eutrofizzazione del substrato e fenomeni di inquinamento atmosferico, legate all'alleanza del *Parmelion caperatae*: *Parmelia caperata*, *Phlyctis argena*, *Normandina pulchella*, *Parmotrema chinense*, *Caloplaca ferruginea*, etc. Sulla prima componente principale le specie più nitrofitiche dello *Xanthorion parietinae* sono chiaramente separate dalle specie acidofitiche anitrofitiche delle comunità di *Parmelion*. La seconda componente principale separa invece, con coordinate positive, alcune specie acidofitiche, ma tossitolleranti, che sono presenti anche in aree inquinate, dove l'acidificazione secondaria delle scorze derivante dall'inquinamento da SO_2 determina l'esistenza di una nicchia secondaria: *Parmelia subaurifera*, *P. sulcata*, *P. tiliacea*, *Hypogymnia physodes*. Le specie con le maggiori coordinate negative sulla seconda variabile canonica sono *Phaeophyscia orbicularis* e *Hyperphyscia adglutinata*: si tratta di due licheni fortemente tossitolleranti e nitrofitici, che segnalano una accentuata eutrofizzazione dei substrati. La disposizione delle specie riflette un gradiente di sensibilità all'inquinamento atmosferico, a partire dalle tossitolleranti *Hyperphyscia adglutinata*, *Phaeophyscia orbicularis*, *Physcia biziana*, passando per le specie acidofitiche

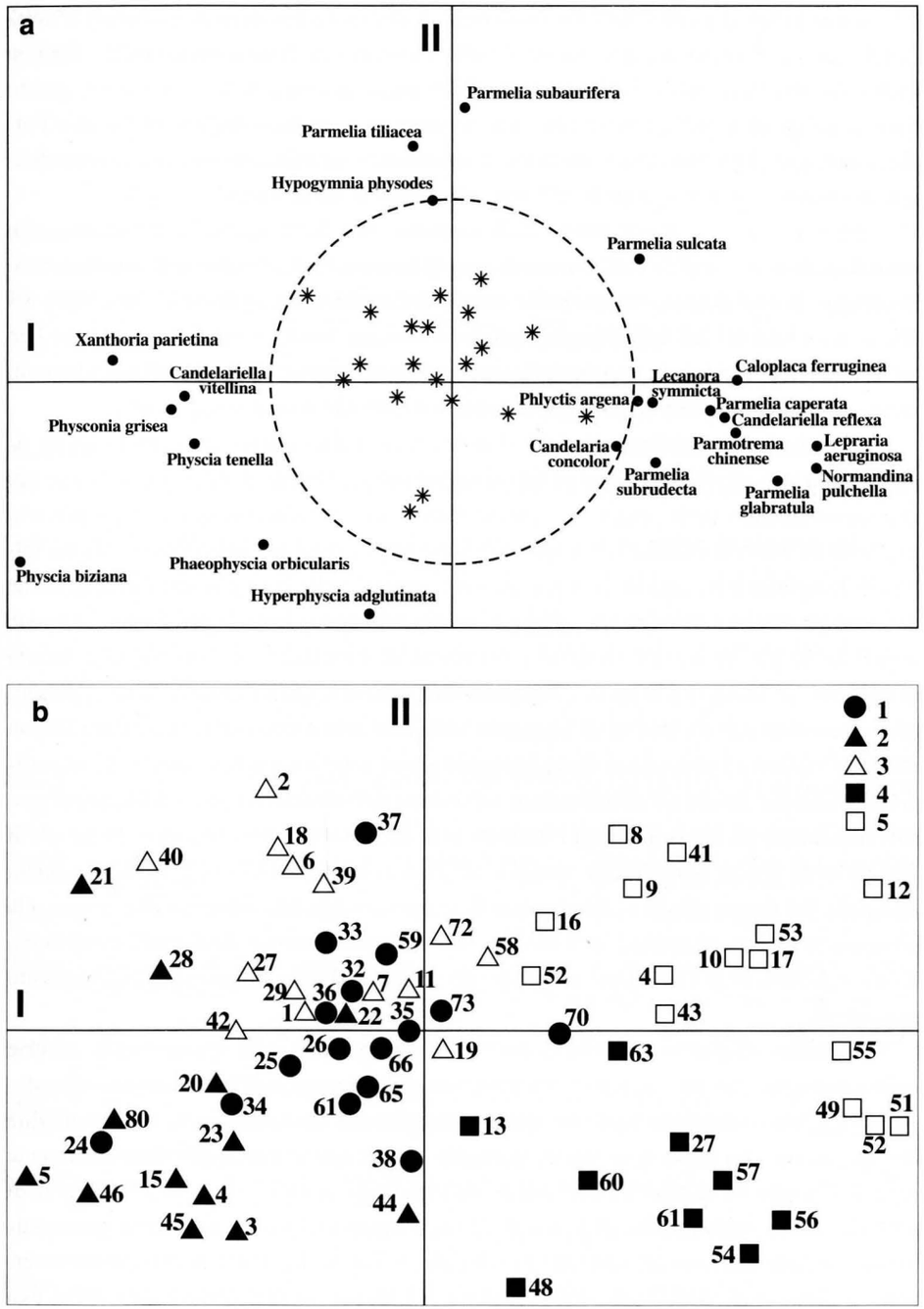
ma tossitolleranti rappresentate da *Hypogymnia physodes*, *Parmelia tiliacea*, *P. subaurifera*, *P. sulcata*, fino alle specie sensibili, quali *Parmelia caperata* ed alle più sensibili, *Parmotrema chinense*, *Normandina pulchella*, *Parmelia glabratula*.

L'ordinamento delle stazioni (fig. 14 b) mostra come i gruppi di stazioni 1, 2 e 3 siano disposti prevalentemente sul lato negativo della prima variabile canonica, mentre gruppi 4 e 5 hanno coordinate positive. In questo modo le stazioni disposte nella periferia di Trieste e in prossimità dei centri abitati vengono nettamente separate dalle stazioni disposte nelle aree dell'altipiano carsico meno antropizzate. Tale situazione può venir interpretata sulla base della disposizione delle specie indicatrici dell'ordinamento di fig. 14: in questo modo viene evidenziato il fatto che negli ambienti urbani, accanto ai fenomeni di inquinamento atmosferico da anidride solforosa, si verifica anche l'eutrofizzazione delle scorze degli alberi, che permette uno sviluppo più o meno rilevante di comunità nitrofitiche tossitolleranti.

Discussione

I risultati di questo lavoro hanno evidenziato una situazione ambientale molto diversificata nell'ambito del territorio della Provincia di Trieste: buona parte dell'altipiano carsico è caratterizzato da una situazione molto prossima alla naturalità, con moderati fenomeni di eutrofizzazione presso i centri abitati, mentre la conca di Trieste ed il comune di Muggia presentano una situazione fortemente compromessa, con uno scarso numero di specie. Questi risultati possono venir confrontati con quelli condotti da NIMIS (1985) per la città di Trieste; in questo studio sono state adottate metodologie diverse ma comparabili, in quanto i rilievi floristici sono stati effettuati secondo il metodo fitosociologico classico (BRAUN-BLANQUET, 1964). I risultati presentati da NIMIS (1985) sono in pieno accordo con quelli ottenuti in questo lavoro: il confronto tra le carte della qualità dell'aria presentate nei due lavori evidenzia che in alcune parti della periferia e della zona industriale di Trieste, per le quali NIMIS (1985) riportava la completa assenza di specie licheniche, sono attualmente presenti alcuni licheni. La ricolonizzazione delle zone urbane a partire dalle zone periferiche ad opera dei licheni viene interpretato dagli autori moderni come un'indicazione del miglioramento della qualità dell'aria.

Fig. 14 - Ordinamento reciproco delle specie (a) e delle stazioni (b), basato sui dati di tab.1. I simboli indicano i gruppi di stazioni, numerati come in tab. 1; le specie con bassi valori sui due assi non vengono specificate.
- *Reciprocal ordination of the species (a) and the stations (b), based on the data of tab. 1. Symbols refer to station groups, numbered as in tab. 1; species with low scores on either axes are not discrimined.*



La carta della qualità dell'aria presentata in questo lavoro dimostra notevoli affinità con la carta dell'inquinamento floristico della Provincia di Trieste realizzata da POLDINI (1989; fig. 91) sulla base della percentuale delle specie fanerogamiche antropocore; questo tipo di carta evidenzia l'azione di rimaneggiamento ed alterazione dei biotopi legata all'attività antropica. Le informazioni derivanti da particolari organismi viventi permettono dunque di analizzare i diversi aspetti dell'antropizzazione di un territorio.

Lo sviluppo e la composizione delle comunità licheniche epifite nell'area di studio sono decisamente variabili: nelle zone urbane più interessate dai fenomeni di inquinamento si sviluppano comunità povere in specie, costituite da licheni tossitolleranti e nitrofitici; nei pressi dei centri abitati dell'altipiano carsico si trovano invece comunità nitrofitiche ben sviluppate, ricche in specie, mentre nelle aree meno antropizzate e più naturali sono presenti ricche comunità di specie acidofitiche e molto sensibili alle sostanze inquinanti.

L'analisi della distribuzione delle singole specie fornisce importanti informazioni riguardo alla loro sensibilità ai diversi fattori ambientali e permette di distinguere diversi tipi di comportamento delle specie. Le specie fortemente nitrofitiche, quali *Hyperphyscia adglutinata*, *Physcia biziana*, *Phaeophyscia orbicularis*, risultano generalmente molto tolleranti l'inquinamento atmosferico per cui sono presenti nelle zone più antropizzate, anche se con coperture piuttosto limitate; il loro massimo sviluppo si registra però nelle zone poco inquinate da gas fitotossici soggette a fenomeni di eutrofizzazione dovute alle attività antropiche. Le specie acidofitiche moderatamente tolleranti, quali *Parmelia sulcata* presentano distribuzioni con massimi di frequenza nelle aree non o poco antropizzate ma singoli individui riescono a svilupparsi sporadicamente anche nelle zone urbane inquinate, in particolari situazioni dovute all'acidificazione secondaria dei substrati ad opera degli agenti gassosi inquinanti; gli stessi inquinanti limitano però fortemente il loro sviluppo. Infine c'è il gruppo delle specie acidofitiche sensibili all'inquinamento atmosferico, quali *Parmelia caperata*; tra queste specie si distinguono le specie aeroigrofile suboceaniche, legate alla presenza di un'elevata umidità atmosferica, (*Parmotrema chinense*, *Normandina pulchella*, *Lobaria pulmonaria*), che rappresentano le specie più sensibili a situazioni di inquinamento atmosferico.

I risultati di questo studio indicano che la distribuzione delle specie e delle diverse comunità licheniche sono interpretabili sulla base dei fenomeni dell'inquinamento atmosferico e dell'eutrofizzazione legati all'attività antropica sul territorio; anche la disponibilità d'acqua assume un ruolo importante, in quanto alcune specie licheniche sono fortemente legate al grado di oceanicità climatica. Va comunque sottolineato che i fenomeni di eutrofizzazione derivanti da attività agricole non rappresentano un fenomeno particolarmente rilevante nel caso del territorio provinciale di Trieste, in contrasto con quanto osservato da NIMIS et al. (1991) per l'intera pianura veneta, per quanto, come è stato detto, essi

siano di primaria importanza per spiegare le variazioni floristiche della vegetazione lichenica epifita.

Manoscritto pervenuto il 07.XI.1994.

Ringraziamenti

Si ringrazia la dott.ssa Catia Campagnolo per l'assistenza durante la raccolta e l'elaborazione dei dati floristici ed il prof. Pier Luigi Nimis (Università di Trieste) per l'attenta revisione critica del lavoro. Il lavoro è stato commissionato dalla Provincia di Trieste al Dipartimento di Biologia dell'Università di Trieste.

Bibliografia

BRAUN-BLANQUET J., 1964 - Pflanzensoziologie, Grundzüge der Vegetationskunde. 3rd ed., *Springer*, Wien, New York, pp. 865.

CASTELLO M., NIMIS P.L., CEBULEZ E. & MOSCA R., 1994 - Air quality assessment by lichens as bioindicators of SO_2 and bioaccumulators of heavy metals in the province of Trieste. Atti convegno: Le piante e l'inquinamento dell'aria, Pisa 4 aprile 1994. *Int. J. Agr. Med.*, Special vol.: 233-243.

HERZIG R., LIEBENDÖRFER L. & URECH M., 1987 - Flechten als Bioindikatoren der Luftverschmutzung in der Schweiz: Methoden-Evaluation und Eichung mit wichtigen Luftschadstoffen. *VDI Berichte*, 609: 619-639.

LIEBENDÖRFER L., HERZIG R., URECH M. & AMMANN K., 1988 - Evaluation und Kalibrierung der Schweizer Flechten-Indikationsmethode mit wichtigen Luftschadstoffen. *Staub, Reinhaltung der Luft*, 48: 233-238.

NIMIS P.L., 1982 - The epiphytic lichen vegetation of the Trieste Province (North Eastern Italy). *Studia Geobotanica*, 2: 169-191.

NIMIS P.L., 1985 - Urban lichens studies in Italy. Ist: the town of Trieste. *Studia Geobotanica*, 5: 49-74.

NIMIS P.L., 1993 - The lichens of Italy. An annotated catalogue. Monografia XII, *Mus. Reg. Sc. Nat.*, Torino, pp. 897.

NIMIS P.L., CASTELLO M. & PEROTTI M., 1990 - Lichens as biomonitors of sulphur dioxide pollution in La Spezia (Northern Italy). *Lichenologist*, 22 (3): 333-344.

NIMIS P.L., CICCARELLI A., LAZZARIN G., BARGAGLI R., BENEDET A., CASTELLO M., GASPARO D., LAUSI D., OLIVIERI S. & TRETIACH M., 1989 - I licheni come bioindicatori di inquinamento atmosferico nell'area di Schio-Thiene-Breganze (VI). *Boll. Mus. Civ. St. Nat.*, Verona, 16: 1-154.

NIMIS P.L. & DE FAVERI R., 1980 - Numerical classification of *Xanthorion* communities in North Eastern Italy. *Gortania*, 2: 91-110.

NIMIS P.L. & LOI E., 1981 - I licheni epifiti della Provincia di Trieste. *Gortania*, 3: 101-122.

NIMIS P.L. & LOI E., 1982 - Florula lichenica della Val Rosandra (Trieste). *Atti Museo Civ. St. Nat.*, Trieste, 34 (2): 55-84.

NIMIS P.L. & LOI E., 1984 - I licheni della dolina di Percedol (Carso Triestino). Studio fitogeografico. *Atti Mus. Civ. St. Nat.*, Trieste, 36 (1): 1-12.

NIMIS P.L. & LOSI L., 1983 - Lichens as phytoclimatical indicators in the Trieste Karst. *Gortania*, 5: 63-80.

POLDINI L., 1989 - La vegetazione del Carso isontino e triestino. *Lint*, Trieste, pp. 315.

WILDI O. & ORLÓCI L., 1983 - Management and multivariate analysis of vegetation data. *Swiss Fed. Inst. Forestry Res.*, Rep. 215, Birmensdorf, pp. 387.

Indirizzo dell'Autore - Author's address:
- dott.ssa Miris CASTELLO
Dipartimento di Biologia
Università degli Studi di Trieste
via L. Giorgieri 10, I-34127 TRIESTE